

Studi Numerik Pengaruh *Convergency Promoters* (CPs) terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas dengan $\ell/D = 0.25$, pada *Tube banks* yang Tersusun Secara *Staggered*

Chairunnisa dan Prabowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak—*Compact heat exchanger* merupakan jenis alat penukar kalor yang banyak digunakan didunia industri gas, refrigerasi dan tata udara. Dalam hal performa, *compact heat exchanger* bergantung pada pola permukaan *fin*, yakni *wavy* dan *straight fin*. *Straight fin*, struktur permukaan *fin* yang datar membuat aliran membutuhkan waktu yang relatif lebih lama untuk terjadi perpindahan panas dibandingkan tipe *wavy fin* yang bergelombang. Selain merubah pola permukaan, upaya untuk memaksimalkan perpindahan panas pada *straight fin* juga dapat dibentuk dengan penambahan *Convergency Promoters* (CPs) pada permukaannya. Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi numerik dengan *software Fluent 6.3.26*. Simulasi ini dikondisikan dengan menggunakan model turbulensi $k-\epsilon$ RNG dan metode *second-order upwind scheme*. Pada penelitian ini yang divariasikan adalah *Reynolds number* berbasis *diameter tube*, yaitu 3000, 4000 dan 5000, dengan ukuran CPs, $\ell/D = 0.25$, pada *tube banks* yang tersusun secara *staggered*. Fluida kerja yang digunakan adalah udara yang dimodelkan sebagai gas ideal yang mengalir melintasi celah antar *tube* dengan temperatur *inlet* 347.14 K dan temperatur *tube* (air) konstan sebesar 310.5 K. Dari hasil simulasi ini didapatkan visualisasi kontur kecepatan, temperatur dan visualisasi pola aliran yang terbentuk serta pembuktian hipotesa bahwa dengan adanya penambahan CPs akan meningkatkan perpindahan panas. Dimana, model modified akan meningkatkan nilai *Nusselt number* dan koefisien konveksi sebesar 47- 63% daripada model baseline (tanpa penambahan CPs).

Kata kunci—*Fluent* , *Convergency Promoters*, *Reynolds number*, *Staggered Tube banks*.

I. PENDAHULUAN

INDUSTRI merupakan wadah penerapan dan pengaplikasian teknologi. Salah satu teknologi yang memiliki peranan penting di dunia industri adalah alat penukar kalor (*Heat Exchanger*). *Heat exchanger* adalah sebuah alat guna melakukan proses pertukaran kalor antara dua fluida, baik fluida cair maupun gas yang berbeda temperatur, penerapan dari hukum-hukum termodinamika dan perpindahan panas. Salah satu jenis *heat exchanger* yang memiliki luasan perpindahan panas yang paling besar ($\geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$) adalah tipe *Compact heat exchanger*. *Fin and tube*, jenis *compact heat exchanger* yang umum digunakan di industri maupun kebutuhan rumah tangga (*air conditioning*) dengan bentuknya yang *compact* (ringkas).

Fin and tube heat exchanger seiring dengan perkembangan jaman, dituntut untuk dapat menyajikan performa (kinerja)

yang sesuai dengan fungsi kerjanya melalui perubahan bentuk tipe permukaan *fin* ataupun penambahan pada permukaan *fin*.

Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian terdahulu mengenai penambahan atau modifikasi pada bagian permukaan *fin*, *fin and tube heat exchanger* untuk menunjang penelitian. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh He, dkk (2012) didapat bahwa dengan adanya penambahan *vortex generators* menunjukkan adanya peningkatan koefisien perpindahan panas sebesar 28,8-34,5% untuk kasus 10° , 54,6-61,5% untuk kasus 20° , 83,3-89,7% untuk kasus 30° [1]. Dan pada variasi jumlah RWP yang terpasang juga menunjukkan adanya peningkatan koefisien perpindahan panas sebesar 22,7-25,5% untuk kasus single-RWPs, 54,6-61,5% untuk kasus 3-RWPs, 87,5-105,1% untuk kasus 7-RWPs. Lain halnya dengan penelitian Ramadhan (2012) didapat bahwa dengan adanya penambahan *vortex generators* menunjukkan bahwa pada tiga baris *tube banks* yang tersusun secara *staggered* menunjukkan adanya peningkatan overall Nu_{AV} number sebesar 10-20,4% untuk kasus 30° dan 10,4-27,7% untuk kasus 45° dengan bentuk *tube* oval [2].

Pada tugas akhir ini akan dianalisa karakteristik aliran dan perpindahan panas berdasarkan pengaruh konfigurasi susunan *tube banks* yaitu secara *staggered*, pengaruh variasi *Reynolds number inlet* berbasis *diameter tube* terhadap distribusi temperatur, distribusi, kecepatan, distribusi koefisien konveksi dan distribusi *Nusselt number* tanpa dan dengan menggunakan *Convergency Promoters* (CPs) serta melakukan pembuktian hipotesa dengan adanya penambahan *Convergency Promoters* akan meningkatkan laju perpindahan panas yang terjadi pada permukaan *fin*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

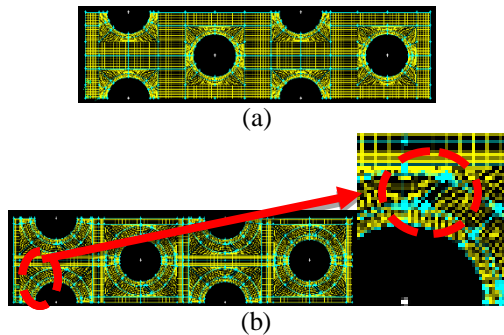
Penelitian dilakukan dengan cara melakukan variasi *Reynolds number inlet* berbasis *diameter tube*, dengan memodifikasi penelitian Wahyuna (2012) model existing dari generator cooler [3], selanjutnya akan dilakukan simulasi numerik secara dua dimensi menggunakan *software Fluent 6.3.26*. Pada metode numerik dibutuhkan tiga tahapan utama yang harus dilakukan, antara lain: preprocessing, solving atau processing, dan postprocessing.

Tabel 1.
Properties Udara yang Dimodelkan sebagai Gas Ideal

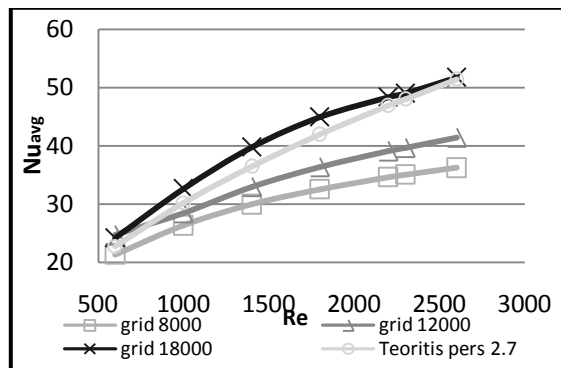
Properties Udara Inlet	
Temperatur inlet ($^{\circ}\text{C}$)	74.14
Massa Jenis (kg/m^3)	1.0045
Panas Spesifik (Cp) (KJ/kg.K)	1.00889
Viskositas Absolut (μ) (N.s/m^2)	2.0685e-05
Viskositas Kinematik (m^2/s)	2.06323e-05
Thermal Konduktivitas (W/m.K)	0.02979
Prandtl Number (Pr)	0.701

Tabel 2.
Dimensi Permodelan Tanpa dan dengan *Convergency Promoters*

Dimensi	Nilai
Tube	
Tube outside diameter (mm)	20.5
Transverse pitch (mm)	41
Longitudinal pitch (mm)	41
Diagonal pitch (mm)	45.84
Tube row number	4
Fin	
Air flow direction length (mm)	164
Convergency Promoters	
Degree	45 $^{\circ}$
Width, w (mm)	1
Length, l (mm)	5.125



Gambar 1. Meshing pada (a) model baseline dan (b) model modified (2D flow)



Gambar 2. Grid Independency Validation

A. Kondisi Kerja

Pada penelitian ini akan divariasikan mengenai *Reynolds number inlet* berbasis *diameter tube Reynolds number* di variasikan mulai dari 3000, 4000, dan 5000 dengan kecepatan *inlet* sebesar 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s. Karena fluida kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah udara yang

dimodelkan sebagai gas ideal maka harus ditentukan terlebih dahulu properties udara, sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.

B. Preprocessing

Preprocessing dilakukan sebagai metode awal dalam penelitian untuk membangun dan menganalisa sebuah model komputasi (*CFD*). Tahapan *Preprocessing* terdiri dari beberapa sub-tahapan antara lain: pembuatan geometri, penentuan domain, pembuatan *meshing* dan penentuan parameter-parameter yang digunakan, sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Bentuk mesh yang dipilih adalah *quadrilateral-map*. Berikut adalah Gambar *meshing* untuk pemodelan 2D model *baseline* (tanpa penambahan CPs) dan model *modified* (dengan penambahan CPs), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1.

C. Processing

Pada tahapan *Processing* penelitian dilakukan dengan menggunakan *software berbasis (CFD)* yang terdiri dari tahapan dibawah ini.

• Memilih Solver

Pada saat membuka perangkat lunak *FLUENT* terdapat pilihan untuk menggunakan *Solver* 2D atau 3D dengan keakuratan tunggal atau ganda (*single precision/double precision*). *Solver* yang digunakan adalah 2D dengan keakuratan tunggal. Keakuratan tunggal adalah dimana hanya beberapa kapasitas memori yang digunakan karena penelitian ini masih dalam bentuk 2D dan tidak dalam bentuk yang kompleks, *single precision* cukup akurat untuk menganalisa dengan baik, lain hal nya dengan *Solver* 3D yang memiliki geometri yang kompleks sangat dianjurkan menggunakan *double precision*. Pada penelitian ini digunakan *Solver segregated* untuk menyelesaikan persamaan yang ada. *Solver segregated* menyelesaikan persamaan tersebut secara bertahap (terpisah antara satu persamaan dengan persamaan yang lain).

• Validation of Numerical Results

Salah satu upaya untuk mendapatkan hasil yang akurat, yaitu dengan membandingkan jumlah *meshing* satu dengan lainnya dalam hal membandingkan nilai *Nusselt number average* untuk ke-empat baris *tube*. Variasi jumlah *mesh* yang dibandingkan adalah 8000, 12000, dan 18000 *cells* untuk *Reynolds number* yang divariasikan yaitu 600-2600 dengan kenaikan 400 dan juga ditinjau dari *Reynolds number* untuk aliran transisi yaitu 2300. Dari Gambar 2. mengenai grafik *grid independency validation* terlihat bahwa untuk jumlah *mesh* 18000 *cells* memiliki nilai *Nusselt number average* yang mendekati nilai *Nusselt number average* teoritis dengan jumlah *mesh* yang lebih rapat dari jumlah *mesh* lainnya. Oleh karena itu, jumlah *mesh* 18000 dipilih dalam penelitian ini.

• Pemilihan Turbulence Modelling

Pada penelitian ini menggunakan *turbulen modeling k epsilon RNG*. Sesuai dengan rujukan yang digunakan dalam penelitian He, dkk (2012).

• Pemilihan Operating condition

Kondisi operasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tekanan operasi pada fluida berupa gas ideal melalui melalui celah diantara dua *fin* dan *Convergency Promoters* yang

berbentuk *rectangular*. Pada penelitian ini tekanan operasi yang digunakan adalah 101325.

- Menentukan *Boundary condition*

Dalam mendefinisikan sebuah kasus, harus memasukkan informasi pada variabel aliran pada domain kasus tersebut. Data yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas yang digunakan. Dalam simulasi ini menggunakan batas kondisi yang ditampilkan pada Tabel 3. Untuk aliran dua dimensi menggunakan absolute kriteria konvergensi sebesar 0,00001. Setelah itu baru kemudian dilakukan perhitungan dengan perintah iterasi.

D. Postprocessing

Hasil dari simulasi numerik ini kemudian ditampilkan dalam bentuk pathline kecepatan, kontur kecepatan, dan kontur temepatur. Serta dalam bentuk grafik distribusi kecepatan lokal *tube*, distribusi koefisien tekanan lokal *tube*, distribusi koefisien konveksi lokal *tube*, distribusi *Nusselt number* lokal *tube*, distribusi koefisien konveksi rata-rata dan distribusi *Nusselt number* rata-rata untuk model *baseline* dan *modified*. Grafik tersebut diperoleh dari data hasil iterasi yang dilakukan oleh *software Fluent 6.3.26*.

III. HASIL DISKUSI

Dalam penelitian ini didapatkan data secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa data secara kualitatif dilakukan dengan menampilkan pola aliran dari masing-masing model (*pathline by velocity magnitude* (kecepatan), kontur kecepatan, kontur temperatur dan karakteristik perpindahan panas yang disajikan dalam bentuk grafik meliputi pembahasan kecepatan lokal *tube*, koefisien konveksi lokal *tube*, *Nusselt number* lokal *tube* pada masing-masing baris pada susunan *tube* dan koefisien konveksi dan *Nusselt number* rata-rata pada *tube banks* yang tersusun secara *staggered* terhadap variasi kecepatan inlet.

A. Analisa Pola Aliran Terhadap Variasi Kecepatan Inlet berbasis Reynolds number

Suatu aliran yang melintasi suatu bidang tentu akan membentuk suatu pola berdasarkan bentuk bidang yang dilewati. Dalam hal ini aliran yang akan ditinjau adalah aliran yang melewati *tube banks* yang tersusun secara *staggered* tanpa adanya penambahan *Convergency Promoters* (CPs) dan dengan adanya penambahan *Convergency Promoters* (CPs) yang berpasangan dengan *tube-tube* dengan kecepatan inlet 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s untuk masing-masing *Reynolds number* 3000, 4000 dan 5000, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.

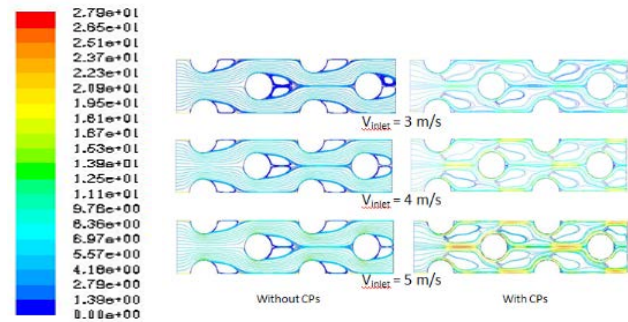
a. Model Baseline (tanpa penambahan CPs)

Berdasarkan Gambar 4, fenomena yang terlihat untuk visualisasi *pathline* model *baseline* (tanpa adanya penambahan CPs), dapat dilihat bahwa pola aliran yang terbentuk ketika aliran melintasi *single tube* terjadi perlambatan kecepatan sebelum menumbuk *tube* (titik stagnasi) pada baris berikutnya kemudian aliran terpecah mengalir ke dua arah yaitu mengalir ke bagian atas *tube* dan ke bagian bawah *tube*.

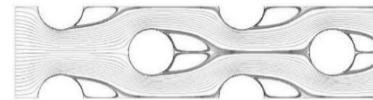
Tabel 3.

Boundary condition

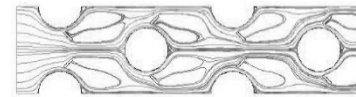
<i>Boundary condition</i>	Keterangan
<i>Inlet</i>	Type : Velocity <i>Inlet</i> <i>Reynolds number</i> : 3000, 4000 dan 5000 Temperatur <i>inlet</i> : 347.14 K
<i>Outlet</i>	Type : <i>Outflow</i>
<i>Tube</i>	Type : Stationary Wall Temperatur : 310.5 K
<i>Convergency Promoters</i>	Type : Stationary Wall
Garis Bantu I	Type : Interior
Garis Bantu II	Type : Symmetry



Gambar. 3. Visualisasi Pathline by Velocity Magnitude.



Gambar. 4. Visualisasi Pola Aliran: Baseline (without CPs).



Gambar. 5. Visualisasi Pola Aliran: Model Modified (with CPs) pola aliran by pathline velocity.

Saat aliran mengalir di kedua bagian tersebut kecepatan lokal *tube* memiliki kecepatan maksimum karena adanya penyempitan celah laluan aliran. Setelah aliran melewati celah diantara kedua *tube* tersebut (V_{max}), aliran menuju ke bagian belakang *tube* dan aliran terpecah (aliran memisah). Sebagian aliran menuju *tube* berikutnya dan sebagian lagi berolak (vortex) dibagian belakang *tube* tidak langsung mengalir menuju *tube* berikutnya.

b. Pengaruh Adanya Penambahan *Convergency Promoters* (Model Modified) pada Model Baseline

Berdasarkan fenomena yang terlihat dalam visualisasi *pathline* model *modified* (Gambar 5), dapat dilihat bahwa pola aliran ketika aliran melintasi *single tube* terjadi perlambatan kecepatan sebelum menumbuk *tube* (titik stagnasi) pada baris berikutnya kemudian aliran terpecah mengalir ke dua arah yaitu mengalir ke bagian atas *tube* dan ke bagian bawah *tube* dan aliran terpecah lagi mengalir ke bagian atas dan bawah CP untuk diarahkan ke *tube* berikutnya. Saat aliran mengalir di kedua bagian tersebut kecepatan lokal *tube* memiliki kecepatan maksimum karena adanya penyempitan celah laluan aliran (antara *tube* dan CPs serta antara CP yang satu dengan

lainnya yang berada pada satu baris *tube* yang sama). Setelah aliran melewati celah sempit (V_{\max}), aliran menuju kebagian belakang *tube*, dan aliran terseparasi (aliran memisah). Sebagian aliran menuju *tube* berikutnya dan sebagian lagi berolok(vortex) dibagian belakang *tube* dan CPs tidak langsung mengalir menuju *tube* berikutnya. Vortex yang terbentuk dibelakang *tube* untuk model Modified ini semakin sempit dibandingkan dengan model baseline.

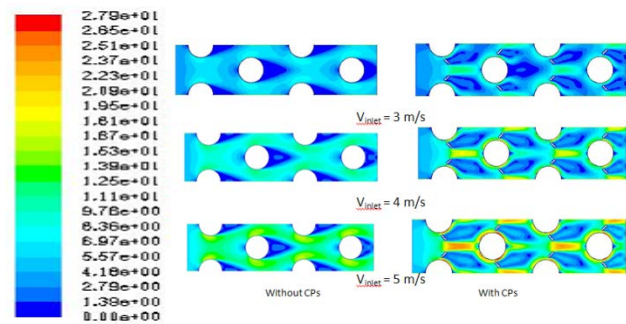
B. Pengaruh Variasi Reynolds number

• Distribusi Kecepatan

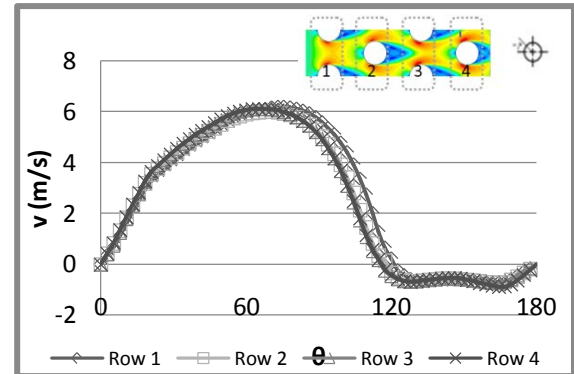
Berdasarkan Gambar 6. terlihat visualisasi aliran berdasarkan *contour of velocity magnitude* untuk model *baseline* (tanpa menggunakan CPs) dan aliran untuk model *modified* (dengan menggunakan CPs) dengan kecepatan *inlet* 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s untuk masing-masing *Reynolds number* 3000, 4000 dan 5000, disepanjang permukaan *tube* pada baris pertama sampai baris keempat.

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8.mengenai grafik distribusi kecepatan dan koefisien tekanan lokal *tube* pada model *baseline* (tanpa penambahan CPs) dapat dilihat bahwa saat posisi aliran melintasi sudut 0° , koefisien tekanan lokal *tube* bernilai 1 untuk *tube* pada baris pertama. Hal ini dinamakan *stagnasi point*, dimana aliran udara pada kecepatan tinggi harus berhenti karena menumbuk *tube*.Setelah melewati posisi tersebut, kecepatan aliran mengalami akselerasi (peningkatan) dengan kecepatan maksimum hingga $\theta \cong 80^\circ$. Hal ini diindikasikan dengan menurunnya nilai C_p (*coefficient pressure*) hingga pada nilai C_p minimum yaitu sekitar -6,40. Setelah melewati $\theta \cong 80^\circ$, aliran akan melawan *adverse pressure gradient* dan *friction effect*, dimana kecepatan yang sangat tinggi pada posisi sudut aliran sebelumnya berangsur-angsur menurun yang diindikasikan dengan meningkatnya nilai C_p hingga $\theta \cong 120^\circ$. Tepat pada posisi aliran saat melintasi $\theta \cong 120^\circ$, momentum aliran sudah tidak mampu lagi menahan *adverse pressure gradient* dan *effect friction* maka terjadilah separasi. Hal ini diindikasikan dengan nilai C_p yang mulai cenderung konstan hingga $\theta \cong 180^\circ$.Namun fenomena nilai C_p bernilai 1, tidak terjadi di *tube* pada baris berikutnya.Hal ini dikarenakan kecepatan saat menumbuk *tube* berikutnya lebih rendah dari kondisi kecepatan udara freestream (V_∞).

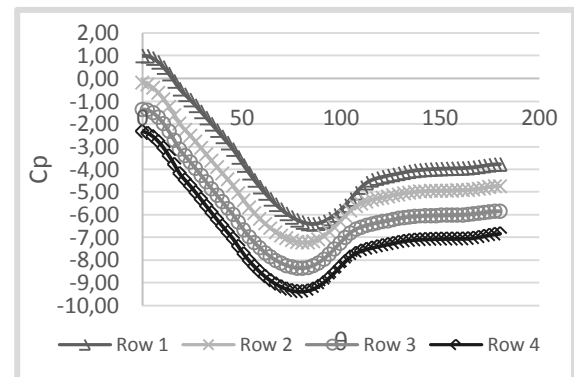
Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10 mengenai grafik distribusi kecepatan dan koefisien tekanan lokal *tube* pada model *modified* (dengan penambahan CPs) menunjukkan perbedaan kedua model tersebut dimana antara *tube* pada baris pertama dan kedua untuk masing-masing model memiliki perbedaan nilai C_p (*coefficient pressure*) yang signifikan. Dimana makin besar nilai C_p -nya maka gaya drag yang timbul juga besar namun jika dilihat dari sisi perpindahan panas akan menghasilkan perpindahan panas yang baik. Selain itu, penundaan separasi sebesar 30° dari 120° pada model *baseline* dan 150° pada model *modified*, dikarenakan penambahan CPs pada *tube* pada baris yang ditinjau, yaitu karena peningkatan kecepatan pada celah sempit antara *tube* dan CPs bukan karena CPs pada *tube* baris sebelumnya.Adanya penambahan CPs terlihat sangat jelas pada *tube* baris kedua, kecepatan lokal *tube*-nya jauh lebih tinggi dibandingkan tanpa adanya penambahan CPs (model *baseline*).



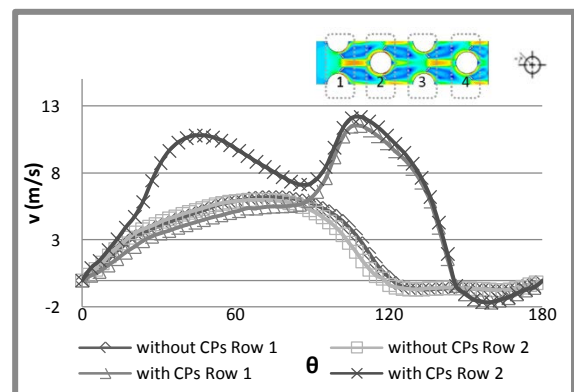
Gambar 6. Visualisasi Kontur Kecepatan



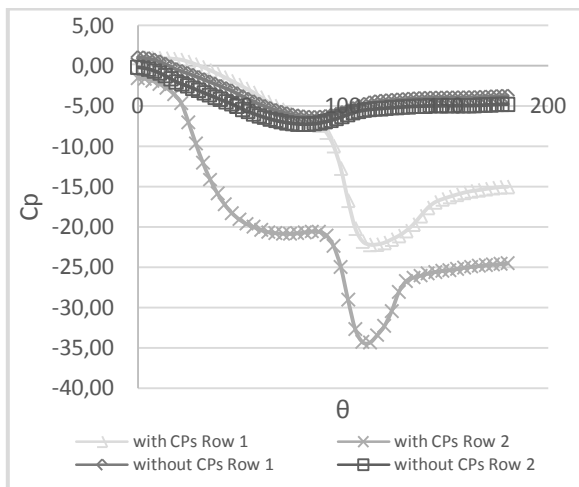
Gambar 7. Distribusi Kecepatan Lokal Tube Model Baseline (tanpa penambahan CPs)



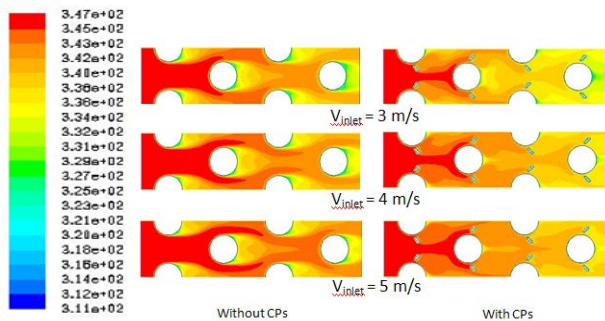
Gambar 8. Distribusi Koefisien Tekanan Lokal Tube Model Baseline (tanpa penambahan CPs)



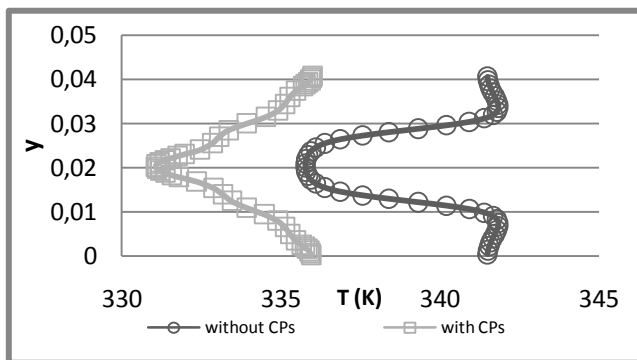
Gambar 8. Distribusi Kecepatan Lokal Tube Perbandingan Antara Model Baseline (tanpa penambahan CPs) dan Model Modified (dengan penambahan CPs)



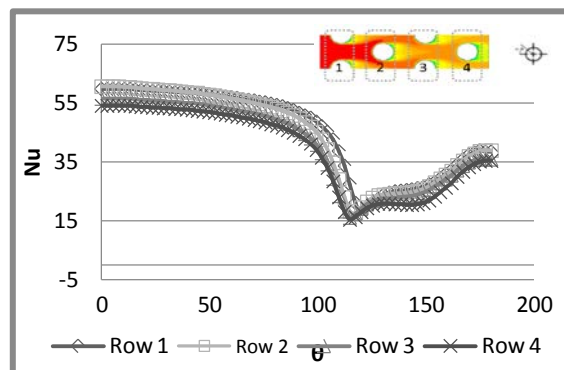
Gambar 10. Distribusi Koefisien Tekanan Lokal Tube Perbandingan Antara Model Baseline (tanpa penambahan CPs) dan Model Modified (dengan penambahan CPs).



Gambar 11. Visualisasi Kontur Temperatur



Gambar 12. Temperatur Outlet untuk Kecepatan Inlet 3 m/s, Reynolds number 3000



Gambar 13. Distribusi Nusselt number Lokal Tube Model Baseline (tanpa penambahan CPs)

• Distribusi Temperatur

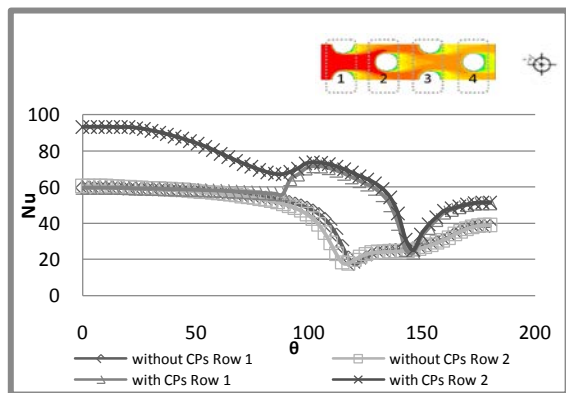
Berdasarkan Gambar 11. terlihat visualisasi aliran berdasarkan *contour of static temperature* aliran untuk model *baseline* (tanpa menggunakan CPs) dan model *modified* (dengan menggunakan CPs) dengan kecepatan *inlet* 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s untuk masing-masing *Reynolds number* 3000, 4000 dan 5000. Pada kedua model ini, temperatur *inlet* (udara) yaitu 74.14°C dan temperatur *tube* konstan yaitu 37.5°C atau masing-masing dalam satuan Kelvin yaitu 347.14 K dan 310.5 K. Distribusi temperatur untuk kedua model ini dapat diartikan dari kelompok warna yang terbentuk, dengan indikasi warna merah memiliki temperatur yang paling tinggi dan temperatur paling rendah diindikasikan oleh warna biru tua.

Berdasarkan fenomena yang terlihat dalam visualisasi model *modified* (menggunakan CPs), dapat dilihat bahwa pada *tube* baris pertama, aliran mengalami penurunan temperatur yang cukup signifikan setelah aliran melewati *tube* dan CPs. Dengan adanya CPs yang terpasang disekitar *tube* baris pertama memfokuskan temperatur udara *inlet* untuk menuju *tube* pada baris kedua (Gambar 7.), dalam hal ini memaksimalkan perpindahan panas antara *tube* pada baris kedua dengan udara *inlet*. Tidak hanya memaksimalkan perpindahan panas pada *tube* baris kedua tetapi juga pada *tube* baris ketiga dan keempat. Berdasarkan visualisasi *contours of temperature* dengan adanya penambahan CPs dapat dilihat bahwa antara model *baseline* dan model *modified*, temperatur *outlet* dengan model *modified* lebih rendah dibandingkan dengan model *baseline*, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 12.

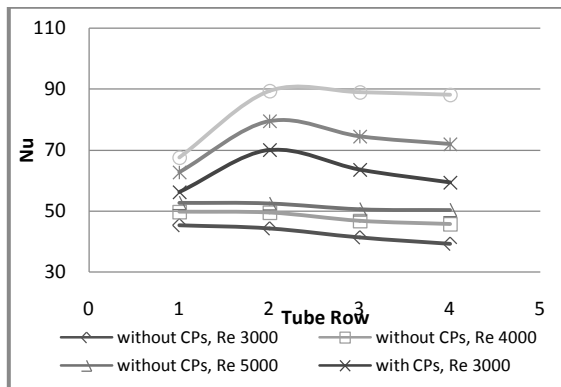
Pada trend grafik *Nusselt number* lokal model *baseline* (tanpa penambahan CPs), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 13. *Tube* pada baris pertama sampai keempat menunjukkan adanya penurunan *Nusselt number* lokal saat aliran melintasi *tube* pada posisi aliran $\theta = 0^\circ$ hingga sudut mencapai $\theta \approx 120^\circ$, dimana nilai koefisien konveksinya juga mengalami penurunan dan terjadinya separasi pada nilai *Nusselt number* minimum. Saat posisi aliran saat $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$, kecepatan lokal *tube* mulai mengalami peningkatan, yang diindikasikan dengan peningkatan nilai koefisien konveksi lokal *tube*. Adanya peningkatan tersebut pada model *baseline* ini dikarenakan terbentuknya vortex pada daerah tersebut.

Dalam hal ini pengaruh besar kecilnya nilai dari koefisien konveksi lokal *tube* sangat erat kaitannya dengan besarnya nilai *heat rate per area* (q'') yang dipengaruhi oleh selisih temperatur, jika selisih temperatur udara disekitar *tube* dan permukaan *tube* kecil maka nilai *heat rate per area* (q'') besar yang sebanding dengan besarnya nilai koefisien konveksi lokal, dimana nilai koefisien konveksi lokal meningkat maka nilai *Nusselt number* juga ikut meningkat.

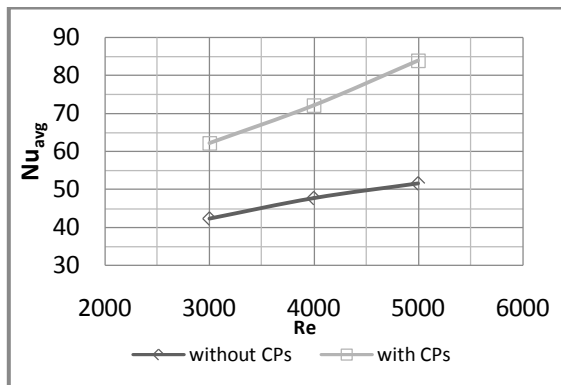
Pada trend grafik *Nusselt number* lokal model *modified* (dengan penambahan CPs), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 14. *Tube* pada baris pertama menunjukkan adanya penurunan *Nusselt number* lokal saat aliran melintasi *tube* pada posisi aliran hingga sudut mencapai $\theta \approx 90^\circ$ namun pada saat $0^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$, *tube* pada baris ini memiliki *Nusselt number* lokal yang sama dengan *tube* baris pertama pada model *baseline*.



Gambar 14. Distribusi *Nusselt number* Lokal Tube Perbandingan Antara Model Baseline (tanpa penambahan CPs) dan Model Modified (dengan penambahan CPs)



Gambar 15. *Nusselt number* Lokal Tube Terhadap Variasi Reynolds number



Gambar 16. *Nusselt number* Rata-rata Pada Tube banks Terhadap Variasi Reynolds number

Saat posisi aliran saat $90^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$, *Nusselt number* lokal tube mulai mengalami peningkatan. Kemudian mengalami penurunan *Nusselt number* lokal tube yang signifikan hingga $\theta \cong 150^\circ$. Pada tube baris kedua saat posisi aliran mencapai $\theta \cong 90^\circ$ *Nusselt number* lokal mengalami penurunan yang signifikan namun setelah melewati sudut 90° sesaat *Nusselt number* lokal mengalami peningkatan hingga $\theta \cong 110^\circ$. Kemudian mengalami penurunan *Nusselt number* lokal yang signifikan hingga $\theta \cong 150^\circ$, dimana terjadinya separasi yang diindikasikan dengan nilai *Nusselt number* minimum. Untuk kedua baris tube yang diilustrasikan pada Gambar 14. setelah aliran melintasi tube pada posisi $\theta \geq 150^\circ$, *Nusselt number* lokal tube mengalami kenaikan hingga $\theta \cong$

180° . Adanya peningkatan tersebut pada model *modified* ini dikarenakan terbentuknya vortex pada daerah tersebut.

Pada Gambar 15. menunjukkan adanya kenaikan *Nusselt number* lokal yang signifikan pada tube baris kedua dan berikutnya karena adanya penambahan CPs yang mana mempengaruhi performa dari alat penukar panas tersebut. Nilai *Nusselt number* lokal pada tube baris pertama relatif memiliki nilai *Nusselt number* lokal yang sama karena pada model *modified* ada sebagian daerah yang belum ada pengaruh dari penambahan CPs dan terjadi perbedaan setelah aliran memasuki celah sempit antara tube dengan CP.

Berdasarkan Gambar 16. dapat dilihat bahwa *Nusselt number* rata-rata pada model *baseline* dan *modified* dengan adanya penambahan *Convergency Promoters* (CPs) memiliki nilai *Nusselt number* rata-rata yang lebih tinggi. Dan nilai *Nusselt number* rata-rata yang diperoleh semakin naik seiring dengan kenaikan Reynolds number yang diberikan. Dimana Reynolds number yang digunakan berbasis dengan diameter tube (D_{tube}). Kenaikan nilai *Nusselt number* rata-rata setelah adanya penambahan CPs lebih besar daripada tanpa adanya penambahan CPs berkisar pada range 47%-63%.

IV. KESIMPULAN

Dari analisa yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi temperatur pada model *baseline* lebih tinggi dengan indikasi temperatur keluaran outlet yang lebih tinggi dibandingkan dengan model *modified* dengan adanya penambahan *Convergency Promoters* (CPs),
2. Nilai *Nusselt number* rata-rata yang dihasilkan dari model *modified* dengan adanya penambahan *Convergency Promoters* (CPs) meningkat, yakni besar peningkatannya berkisar antara 47-63% lebih tinggi dari pada *Nusselt number* pada model *baseline*.
3. Nilai koefisien konveksi rata-rata yang dihasilkan dari model *modified* dengan adanya penambahan *Convergency Promoters* (CPs) meningkat, yakni besar peningkatannya berkisar antara 47-63% lebih tinggi dari pada koefisien konveksi pada model *baseline*.
4. Perpindahan panas yang terjadi pada model *modified* dengan adanya penambahan *Convergency Promoters* (CPs) lebih baik dibandingkan dengan model *baseline*. Dilihat dari kenaikan nilai *Nusselt number* dan koefisien konveksi dan didukung juga oleh visualisasi kontur kecepatan dan kontur temperatur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, Frank P. and Dewitt, David P. (2002) "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Edisi Kelima, John Wiley & Sons, Inc, Singapore
- [2] He, Y.L., Chu, Pan, Tao, W.Q., Zhang, Y.W., Xie, Tao, (2012). "*Analysis of heat transfer and pressure drop for fin and tube heat exchangers with rectangular wingler type vortex generators*". Applied Thermal Engineering 30, 1-14.
- [3] Ramadhan, Abdulmajeed A. (2012) "*Numerical Study of Fluid Flow and Heat Transfer over a Bank of Oval-Tubes Heat Exchanger with Vortex Generators*". Anbar Journal for Engineering Sciences 5 (1), 88-108.
- [4] Wahyuna, Nanang Tri (2012) "*Simulasi Perpindahan Panas Untuk Meningkatkan Performa Generator Cooler di PLTP Kamojang*". Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.